



Agriculture
Canada

Direction générale Research
de la recherche Branch

Bulletin technique 1991-6F

Méthode de modélisation relative à l'estimation des potentiels de rendement des plantes fourragères au Canada



Agriculture
Canada

APR - 3 1991

Library / Bibliothèque, Ottawa K1A 0C5



630.72
C759
C 91-6
fr.
00Ag
c.3

Canada

Méthode de modélisation relative à l'estimation des potentiels de rendement des plantes fourragères au Canada

A. BOOTSMA et J.B. BOISVERT
Centre de recherches sur les terres
Ottawa (Ontario)

Bulletin technique 1991-6F
Centre de recherches sur le terres Contribution 90-50

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1991

On peut obtenir cette publication à l'adresse suivante :
Directeur
Centre de recherches sur les terres
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

Production du Service aux programmes de recherches

• Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
N° de cat. A54-8/1991-6F
ISBN 0-662-96669-4

Also available in English under the title
*Modelling methodology for estimating forage yield
potential in Canada*

Illustration de la couverture
Les points sur la carte indiquent
les établissements de recherches
d'Agriculture Canada.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
AVANT-PROPOS	2
RÉSUMÉ	2
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES ANNEXES	4
1. INTRODUCTION	5
2. ÉLABORATION DU MODÈLE	6
2.1 Choix du modèle	6
2.2 Simulation des périodes de croissance et des calendriers de coupe	7
2.2.1 Critères relatifs à l'estimation de la date de la première coupe	8
2.2.2 Critères relatifs à l'estimation des dates de coupes additionnelles	10
2.2.3 Vérification des critères relatifs aux dates de coupe	14
2.3 Modifications additionnelles apportées au modèle de la FAO pour adaptation aux cultures fourragères	16
2.3.1 Conditions d'exploitation du terrain	16
2.3.2 Pertes dues à la respiration	16
2.3.3 Indice de surface foliaire	16
2.3.4 Début de la saison de croissance	17
2.3.5 Bilan hydrique du sol	17
2.3.6 Indice de récolte	18
2.4 Simulation du rendement potentiel net en matière sèche	18
2.4.1 Hypothèses relatives au taux maximum de croissance ..	18
2.4.2 Validation du rendement potentiel (sans facteur limitant)	19
2.5 Simulation des rendements prévus (sol non irrigué) en matière sèche	20
2.5.1 Méthodes de modélisation et modifications apportées .	20
2.5.2 Validation des rendements prévus	23
a) Validation des rendements de luzerne et de fléole	23
b) Validation des rendements d'agropyre	25
3. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	26
4. BIBLIOGRAPHIE	29
5. ANNEXE	32

AVANT-PROPOS

Les études à grande échelle sur l'évaluation des terres ont suscité un besoin d'information en ce qui a trait aux rendements des plantes fourragères, et ce besoin est à l'origine de l'élaboration du présent modèle. La culture des plantes fourragères occupe une place très importante au sein de l'ensemble des systèmes de production agricole dans presque toutes les régions du pays; il est donc nécessaire d'en tenir compte pour évaluer avec justesse les possibilités des terres et leurs aptitudes culturales. L'estimation des potentiels de production de cinq cultures annuelles a déjà fait l'objet de travaux antérieurs, mais il n'existait pas encore de modèle applicable aux plantes fourragères.

Les travaux de modélisation ont été entrepris dans le cadre d'une étude d'évaluation des terres sous la direction de M.J. Dumanski au Centre de recherches sur les terres. L'équipe affectée au projet a suivi l'évolution des travaux et proposé des plans d'action au besoin. L'objectif était d'élaborer un modèle permettant d'estimer les rendements des plantes fourragères dans toutes les régions du Canada, à l'aide des normales climatiques disponibles dans la banque de données sur les possibilités de production des terres (BDPPT). Pour les zones agroécologiques des Prairies, on a utilisé les normales climatiques relevées dans le cadre du Prairie Land Evaluation Project.

RÉSUMÉ

Ce bulletin décrit les méthodes de modélisation qui ont été mises au point dans le but d'estimer les rendements moyens potentiels (sans facteur limitant) et prévus (en sol non irrigué) des cultures fourragères au Canada. Le modèle relatif aux plantes fourragères (FORYLD) s'inspire d'un modèle général modifié sur la croissance des plantes qui a déjà été utilisé pour estimer les potentiels de production de cultures annuelles au Canada. On a mis au point des sous-programmes qui ont été confrontés aux résultats pratiques dans le but de simuler des périodes de croissance normales et des calendriers de coupe relatifs à la luzerne et aux graminées (fléole des prés, brome, agropyre). Chaque période de croissance a par la suite été considérée comme une saison de végétation complète pour les cultures annuelles dans le modèle de la FAO. En plus des calendriers de coupe, on a intégré plusieurs modifications importantes au modèle FORYLD. On a notamment modifié : i) la méthode d'estimation de l'indice de surface foliaire; ii) le rapport entre la photosynthèse foliaire maximale et la température; iii) la méthode utilisée pour déterminer le facteur de stress hydrique servant à calculer les rendements prévus à partir des rendements potentiels. Pour calibrer et valider le modèle, on a confronté les estimations de rendement fournies par ce dernier avec les rendements observés au cours d'essais en champ réalisés à divers endroits au Canada. Les résultats démontrent que l'exactitude des estimations de rendements potentiels et prévus, fournies par le modèle, est d'environ plus ou moins ± 1 t/ha.

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
Tableau 1. Critères relatifs à l'estimation des dates moyennes de coupe de luzerne - Option 1.	12
Tableau 2. Critères relatifs à l'estimation des dates moyennes de coupe de luzerne - Option 2.	13
Tableau 3. Critères relatifs à l'estimation des dates moyennes de coupe des graminées.	14
Tableau 4. Coefficients de corrélation (r) entre les dates moyennes de coupe estimées et observées - luzerne et graminées.	15
Tableau 5. Comparaison entre les rendements potentiels moyens estimés et observés en matière sèche. Luzerne et fléole des prés.	19
Tableau 6. Rapport entre la capacité de rétention d'eau disponible du sol et les classes texturales.	21
Tableau 7. Comparaison entre les rendements prévus moyens - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Luzerne.	24
Tableau 8. Comparaison entre les rendements moyens prévus - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Fléole des prés.	24
Tableau 9. Comparaison entre les rendements moyens prévus - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Agropyre à crête.	27
Tableau 10. Comparaison entre les rendements moyens prévus - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Agropyre intermédiaire.	27

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
Figure 1. Taux de développement relatif (TDR) en fonction de la photopériode ou de la longueur des jours (P).	9
Figure 2. Rapport entre la moyenne des températures moyennes quotidiennes de l'air et la variable JOURS utilisée dans le choix des critères relatifs aux dates de coupe de luzerne.	10
Figure 3. Comparaison entre les dates moyennes de coupe estimées et les dates observées (jour de calendrier) - jusqu'à quatre coupes de luzerne et deux coupes de graminées.	15
Figure 4. Rapport entre le rendement photosynthétique foliaire maximum (P_m) et la température moyenne au cours de la journée (T_{mdt}).	18
Figure 5. Rapport entre le facteur de stress hydrique (SH) et le déficit-surplus hydrique du sol (DSHS).	22
Figure 6. Comparaison entre les rendements prévus moyens en matière sèche-estimés et observés - de toutes les coupes de luzerne (deux-trois coupes).	25

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Dates moyennes de coupe observées et estimées utilisées pour vérifier les critères relatifs aux dates de coupe - luzerne et graminées.	32
--	----

1. INTRODUCTION

L'utilisation de modèles informatisés, relatifs à la croissance et au rendement des cultures, en vue d'estimer les potentiels de production de ces dernières à partir d'informations climatiques et pédologiques n'est pas un nouveau concept. En 1978, l'Organisation des Nations-Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) a publié des méthodes visant à évaluer les potentiels de production de onze cultures dans des pays en voie de développement (FAO, 1978). Les méthodes de la FAO permettent l'estimation de potentiels de rendement sans facteur limitant à partir de régimes de température et de rayonnement ainsi que la prévision de potentiels de rendement en sol non irrigué en tenant compte du stress hydrique et d'autres facteurs limitants. Les méthodes utilisées pour mesurer les effets du stress hydrique sur le rendement sont celles de Doorenbos et Kassam (1979). Les méthodes de la FAO ont par la suite été adaptées en vue d'estimer le potentiel de production de cinq cultures annuelles au Canada (Dumanski et Stewart, 1983; Stewart, 1983). Les estimations de rendement et de potentiel de production ont été réalisées pour 775 zones pédologiques figurant sur la carte des sols du Canada (Clayton et al., 1977) à l'aide des données climatiques et pédologiques de chaque unité cartographique. Les renseignements sur les sols, le climat et les rendements potentiels des cultures, utilisés comme données de base ou provenant de ces études, ont été intégrés depuis à la banque de données sur les possibilités de production des terres (Land Potential Data Base) (Kirkwood et al., 1989).

Jusqu'à maintenant, les études sur les potentiels de production des terres du Canada ont surtout porté sur les cultures annuelles. Il s'avère cependant utile de mettre au point des méthodes visant à évaluer les potentiels de production des plantes fourragères vivaces, étant donné que ces dernières occupent une place importante au sein des systèmes de production agricole au Canada. De telles évaluations sont nécessaires à d'autres secteurs d'activités, tels que la planification de l'utilisation des terres, les décisions relatives à la régie des cultures, l'élaboration des politiques, les programmes d'assurance-récolte, la planification et l'évaluation de la recherche agricole, etc.

Ce bulletin vise à décrire les méthodes de modélisation servant à estimer les potentiels de rendement des plantes fourragères au Canada, à partir de données climatiques et pédologiques. Les fondements des méthodes de modélisation ont déjà été traités (Stewart, 1983) et ne seront donc que résumés brièvement. Le présent document traite principalement des modifications apportées aux méthodes existantes pour les plantes fourragères.

De nombreuses espèces et variétés de plantes fourragères sont cultivées au Canada. Afin d'utiliser les ressources existantes, les auteurs ont principalement tenté de simuler les rendements de plusieurs espèces de légumineuses et de graminées les plus couramment cultivées, notamment la luzerne, la fléole des prés (pour les régions humides), l'agropyre à crête et l'agropyre intermédiaire (pour les régions plus sèches des prairies). C'est également sur ces espèces qu'il y a le plus d'informations provenant d'essais réalisés à suffisamment d'endroits pour permettre de calibrer et vérifier le

modèle. L'accent a été mis sur l'estimation des potentiels de rendement à long terme calculée à partir des normales climatiques plutôt que sur la prévision des rendements sur une base annuelle.

Les rendements des plantes fourragères sont fréquemment influencés par divers facteurs tels que la persistance des cultures et les dommages hivernaux, particulièrement dans le cas de la luzerne. Toutefois, le manque de données et de ressources n'a pas permis, à cette étape, d'intégrer ces paramètres dans le modèle. Par conséquent, les efforts ont surtout porté sur l'estimation des potentiels de rendements moyens des plantes fourragères au cours des premières années suivant l'établissement des cultures, en supposant que les dommages hivernaux ne réduisaient pas les rendements. Il faudra beaucoup d'autres recherches et de données expérimentales si l'on veut éventuellement intégrer ces paramètres.

2. ÉLABORATION DU MODÈLE

2.1 Choix du modèle

Pour élaborer un modèle applicable aux plantes fourragères qui permet d'estimer les potentiels de rendements moyens au Canada, les auteurs ont choisi de modifier le modèle existant de la FAO adapté aux conditions canadiennes par Stewart (1983) (ci-après désigné comme le modèle de la FAO). Ce choix repose sur les motifs suivants : 1) l'accessibilité au logiciel du modèle existant; 2) l'accessibilité aux données climatiques et pédologiques grâce à la banque de données sur les possibilités de production des terres (Kirkwood et al., 1989); 3) adaptation avec succès par d'autres chercheurs du modèle de la FAO pour estimer les rendements annuels des cultures fourragères (McBride et Brown, 1984); 4) évaluation par le modèle à la fois des rendements potentiels sans facteur limitant et sans stress hydrique et des rendements prévus en sol non irrigué.

Le modèle de la FAO permet d'estimer la production nette de biomasse (B_N) en utilisant l'équation suivante :

$$B_N = 0,36 \, b_{gm} / (1/N + 0,25 \, C_t) \quad (1)$$

où b_{gm} désigne le taux maximum de production de biomasse ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$) sous pleine couverture végétale (indice de surface foliaire supérieur ou égal à 5).

N : durée de la saison de croissance (en jours)

C_t : respiration d'entretien fonction de la température moyenne de l'air.

b_{gm} est déterminé par la méthode de DeWit (1965) en utilisant les estimations du taux maximum de production de biomasse les jours ensoleillés et les jours couverts. La moyenne saisonnière d'heures d'ensoleillement lorsque le ciel est couvert est calculée à partir du rayonnement solaire global. La variable b_{gm} dépend aussi du taux maximum de photosynthèse foliaire lequel

est fonction de l'espèce cultivée et de la température. L'équation (1) suppose que la croissance potentielle cumulée suit une courbe sigmoïdale idéale lorsque les conditions sont optimales. On doit par ailleurs apporter une correction à la production nette de biomasse sans facteur limitant lorsque l'indice de surface foliaire (LAI) de la culture est inférieur à 5,0.

On détermine le rendement potentiel net en matière sèche (B_y) en tenant compte de l'indice de récolte (H_i) de la manière suivante :

$$B_y = B_N \times H_i \quad (2)$$

où H_i représente la fraction de la production nette de biomasse qui est utile économiquement. B_y représente donc le rendement potentiel atteignable lorsque l'humidité, l'apport nutritif, les mauvaises herbes, les insectes nuisibles et les maladies ne limitent pas la croissance des plantes.

Le rendement prévu (B_{ya}) est le rendement récoltable obtenu après avoir tenu compte des réductions imputables aux conditions d'exploitation du terrain (pertes au cours de la récolte) et au stress hydrique. Selon le modèle de la FAO, on le calcule de la manière suivante :

$$B_{ya} = B_y \times SH \times W \quad (3)$$

où SH représente le stress hydrique et W les conditions d'exploitation du terrain.

Dans le modèle de la FAO, le facteur de stress hydrique est calculé à partir du rapport de l'évapotranspiration réelle (ET) sur l'évapotranspiration potentielle (ETP), en ayant recours à un facteur de comportement du rendement (K_y) dérivé de manière empirique, d'après Doorenbos et Kassam (1879) c'est-à-dire :

$$SH = 1 - K_y (1 - ET/ETP) \quad (4)$$

L'ET et l'ETP sont des moyennes saisonnières déterminées à partir d'une méthode de bilan hydrique du sol. Le paramètre représentant les conditions d'exploitation du terrain a été estimé à partir de probabilités sur les journées de travail automnales. Les propos qui suivent porteront surtout sur les modifications apportées au modèle de la FAO pour les cultures fourragères. Afin de faciliter la lecture, le modèle modifié applicable aux plantes fourragères sera dorénavant désigné par l'acronyme FORYLD.

2.2 Simulation des périodes de croissance et des calendriers de coupe

Le modèle de la FAO pour le Canada a été établi en vue d'estimer les rendements potentiels moyens des cultures annuelles pour une saison de croissance moyenne dont la durée est déterminée par la température. Dans le cas des plantes fourragères, on peut généralement observer plusieurs périodes de croissance et de récolte au cours d'une saison de végétation. On a donc mis au point des sous-programmes en vue de simuler des périodes moyennes de

croissance et des dates de récolte à partir des normales climatiques pour les légumineuses (luzerne) et les graminées (fléole des prés, agropyre). Chaque période de croissance a été par la suite traitée comme une saison complète de végétation dans FORYLD.

2.2.1 Critères relatifs à l'estimation de la date de la première coupe

L'estimation des dates moyennes de première coupe pour les légumineuses et les graminées a été établie à partir des unités photothermiques cumulées (UPT). Les UPT ont été définies comme les degrés-jours de croissance cumulés au-dessus d'une température minimale de 5 °C (DJC) et modifiés par un facteur exprimant la longueur du jour. Des études antérieures ont démontré que les DJC cumulés peuvent servir à prévoir les dates de maturité dans certaines régions géographiques (Bootsma, 1984; Harcourt, 1984). À l'échelle canadienne, cependant, la longueur des jours peut varier de façon significative, modifiant ainsi le rythme de développement et la date de maturité de certaines espèces de plantes fourragères. Une étude documentaire sur la question a démontré que l'influence de la longueur des jours sur le taux de développement peut varier considérablement selon les espèces et les variétés de plantes fourragères. Toutefois, pour un grand nombre des espèces les plus courantes de graminées et de légumineuses (ex. : fléole des prés, brome, luzerne, trèfle), les jours longs favorisent l'épiaison ou la floraison, alors que les jours courts retardent la floraison et peuvent même l'inhiber complètement (Evans et Allard, 1934; Allard et Evans, 1941; Evans et Wilsie, 1946; Ludwig et al., 1953; de Ruiter et Taylor, 1979). En raison de ce constat, on a privilégié une approche empirique afin d'inclure l'influence de la longueur des jours dans le modèle FORYLD, en ayant recours au concept du taux de développement relatif (TDR). La figure 1 illustre la relation existant entre le TDR et la longueur des jours ou la photopériode (P) dont l'approximation mathématique se calcule ainsi :

$$\text{TDR} = -0,37 + 0,1626 (P) - 0,005942 (P^2) + 0,000062217 (P^3) \quad (5)$$

Les UPT quotidiennes ont été calculées à partir des DJC multipliés par le TDR :

$$\text{UPT quotidiennes} = (T_{mn} - 5,0) \times \text{TDR} \quad (6)$$

où T_{mn} représente la moyenne des températures normales quotidiennes au cours d'une période de 30 ans (1951-1980).

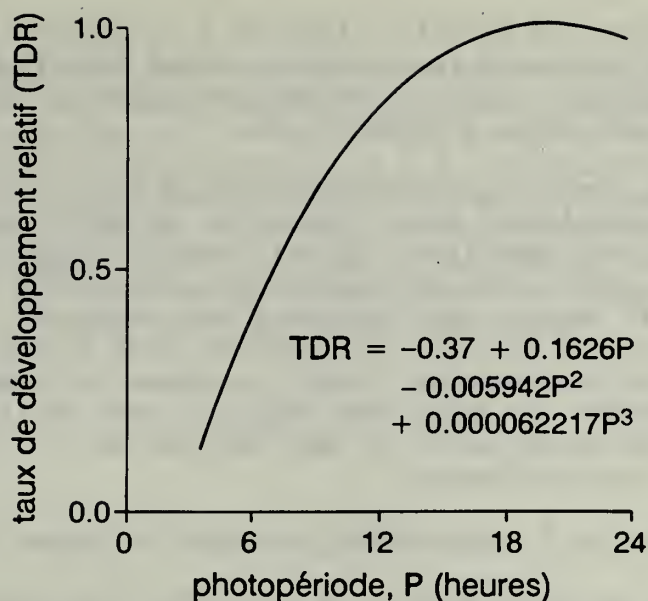


Figure 1. Taux de développement relatif (TDR) en fonction de la photopériode ou de la longueur des jours (P).

On a calculé le nombre d'UPT qui devaient être atteintes avant la première coupe en cumulant les UPT moyennes quotidiennes (à l'aide des températures normales entre 1951 et 1980) à partir de la date où la T_{mn} est supérieure ou égale à 5 °C au printemps jusqu'à la date moyenne de la première coupe de luzerne à 26 endroits au Canada. Les dates moyennes de coupe ont été déterminées à partir de rapports sur les essais de variétés de plantes fourragères réalisés par divers collaborateurs de l'Ouest du Canada, de l'Ontario et des provinces de l'Atlantique (ex. : Ontario Forage Crops Committee, 1968; Comité de l'Atlantique sur les cultures, 1982; Comité d'experts sur les plantes fourragères, 1983). Les dates moyennes de coupe observées étaient basées sur les données de ces rapports régionaux; les données en question ont été recueillies au cours d'essais variant de deux à plus de dix ans. On a démontré, à l'aide de cette méthode, que la luzerne exige environ 480 UPT pour atteindre la maturité à la première coupe. On a supposé que les récoltes au cours des essais régionaux étaient effectuées environ au moment où les variétés de luzerne hâtives et semi-hâtives atteignaient le stade de la première floraison. Certaines variétés peuvent avoir besoin de plus ou moins 480 UPT pour la première coupe, mais on n'a pas tenu compte de ces variations dans le modèle FORYLD. Puisque la luzerne est souvent cultivée en association avec la fléole des prés ou le brome, on a supposé que les espèces de graminées exigeaient le même nombre d'UPT cumulées.

On a également prêté différentes valeurs au TDR, analogues à celles qui sont mentionnées à la figure 1 (y compris une valeur constante du TDR égale à 1,0, pour laquelle les UPT et les DJC étaient égaux), et sur lesquelles la photopériode exercerait une influence plus ou moins grande. Les résultats ont démontré qu'on pouvait obtenir des estimations valables avec diverses fonctions, y compris les DJC, et que le choix de la fonction n'était donc pas

déterminant. Toutefois, la fonction illustrée à la figure 1 a été choisie parce qu'elle permet d'obtenir le plus faible écart type (3 à 4 jours) en ce qui a trait à la différence entre la moyenne estimée et la moyenne observée des dates de coupe à 26 sites expérimentaux.

Les latitudes des sites expérimentaux ayant fait l'objet des essais sur les dates de coupe s'évaluaient de la limite sud, de Ridgeway, Ontario (42°N) à la limite nord de Fort Vermilion, Alberta (58°N). Cette gamme étendue offrait une grande variété dans la longueur des jours (15 à 18 heures, respectivement, au 23 juin). On a également tenu compte de l'influence de la période de l'année sur la longueur des jours en ayant recours au concept des UPT. Les sites où le printemps est tardif en raison des températures fraîches connaissent généralement des jours plus longs au cours de la première période de croissance que les autres sites de même latitude où le réchauffement printanier se fait plus hâtivement.

2.2.2 Critères relatifs à l'estimation des dates de coupes additionnelles

Les critères servant à établir le calendrier des dates de coupe additionnelles ont été déterminés à partir des données existantes sur les dates de coupe recueillies dans le cadre d'essais régionaux sur les variétés de luzerne, de fléole des prés et de brome. Dans le cas de la luzerne, les

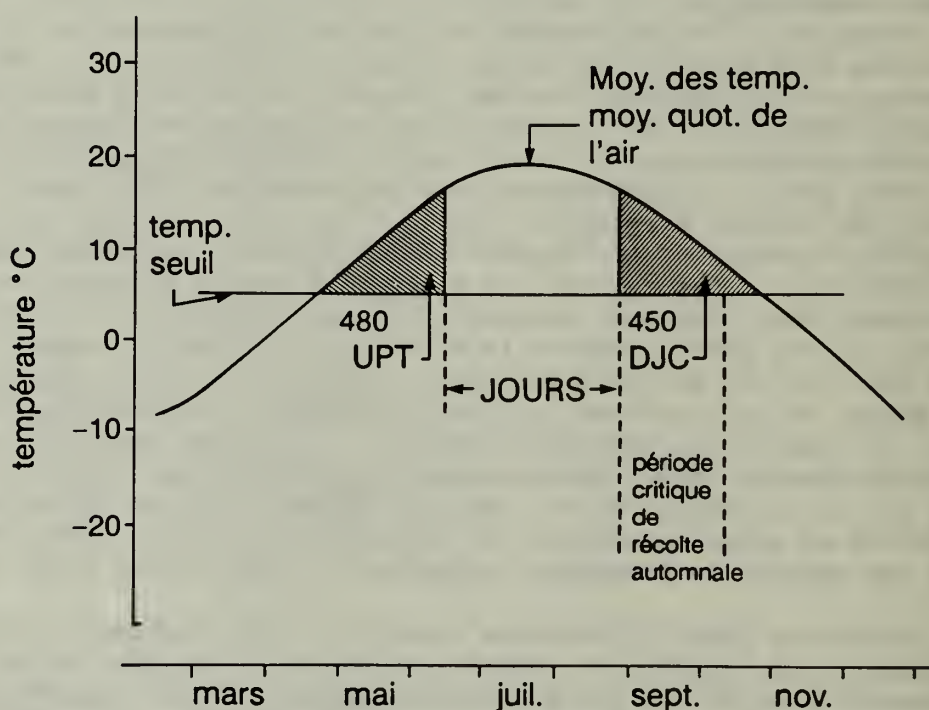


Figure 2. Rapport entre la moyenne des températures moyennes quotidiennes de l'air et la variable JOURS utilisée dans le choix des critères relatifs aux dates de coupe de luzerne.

dates de coupe dépendent d'abord du nombre de jours (JOURS) compris entre la date de la première coupe et le début de la période critique de récolte automnale (J₄₅₀) (voir fig. 2). Normalement, la luzerne ne doit pas être récoltée pendant la période critique des 4 à 6 semaines précédant un gel meurtrier, afin que les racines puissent accumuler suffisamment de réserves nutritives réduisant ainsi les risques de dommages hivernaux (Woolley et Wilsie, 1961; Fulkerson, 1970). Le début de la période automnale critique a été fixé à la date moyenne à partir de laquelle il ne reste que 450 DJC à accumuler pendant l'automne (Bootsma et Suzuki, 1985).

Tableau 1. Critères relatifs à l'estimation des dates moyennes de coupe de luzerne - Option 1

JOURS†	Nbre de coupes	Critères -dates de coupe			
		1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	3 ^e coupe	4 ^e coupe
<0	0-1	480 UPT (pas de coupe si a lieu 42 jrs avant la FSC††)	-	-	-
0-21	1-2	480 UPT	Facult. à la FSC		-
22-43	2	480 UPT	La 1 ^{re} des dates suiv. : a) 15 jrs après J ₄₅₀ b) 44 jrs après 1 ^{re} coupe		
44-55	2-3	480 UPT	44 jrs après 1 ^{re} coupe	Facult. à la FSC	-
56-59	3	480 UPT	44 jrs après 1 ^{re} coupe	FSC	
60-79	3	480 UPT	La dern. des dates suiv. : a) (JOURS)/2 après 1 ^{re} coupe b) 32 jrs. après 1 ^{re} coupe	La dern. des dates suiv. : a) (JOURS)/2 après 2 ^e coupe b) 32 jrs. après 2 ^e coupe	
≥80	3-4	480 UPT	(JOURS-10)/2 après 1 ^{re} coupe	(JOURS-10)/2 après 2 ^e coupe	Facult. à la FSE

† Nombre de jours entre la date à partir de laquelle 480 UPT ont été cumulées au printemps jusqu'à la date où il ne reste que 450 DJC à accumuler.

†† FSC signifie la fin de la saison de croissance, soit la date à laquelle la moyenne de la température quotidienne de l'air descend pour la première fois à 5 °C ou plus bas à l'automne. Dans le présent modèle, le nombre maximum de jours de croissance pour une coupe réalisée à la fin de la saison de croissance est de 60 jours, c'est-à-dire qu'il n'y a plus d'accumulation de matière sèche après 60 jours même si la récolte est retardée jusqu'à la FSC.

La recommandation à l'effet qu'on doit éviter de faire les récoltes durant la période critique demeure encore quelque peu controversée. Les récoltes peuvent se faire relativement sans risque durant cette période si les dommages hivernaux ne posent habituellement pas de problèmes ou si la fréquence des coupes n'est pas trop élevée. Des données expérimentales recueillies à Kamloops, C.-B. (Stout, 1986) laissent supposer qu'il est plus déterminant pour maintenir la vigueur de la parcelle d'espacer suffisamment l'intervalle entre les coupes que d'éviter de récolter durant la traditionnelle période critique établie pour la région.

Étant donné qu'on peut récolter la luzerne selon divers calendriers de coupe avec des résultats comparables, on a mis au point deux séries de critères à cet effet (option 1 et option 2 - voir tableaux 1 et 2). L'option 1 comprend les principaux critères utilisés dans le modèle FORYLD. Toutefois,

Tableau 2. Critères relatifs à l'estimation des dates moyennes de coupe de luzerne - Option 2 (seulement si différente de l'option 1).

JOURS	coupes	Critères-dates de coupe		
		1 ^{re}	2 ^e	3 ^e
22-29	2	480 UPT	FSC	-
35-43	2-3	480 UPT	J450	FSC optionnel
60-79	3	480 UPT	55 jours après la 1 ^{re} coupe	FSC
≥80	3	480 UPT	(JOURS+5) 2 jours après la 1 ^{re} coupe	(JOURS+5) 2 jours après la 1 ^{re} coupe

pour des valeurs choisies des variables JOURS, on applique aussi une deuxième option (tableau 2). Si la dernière coupe est facultative, cela signifie que cette dernière peut être effectuée sans risque uniquement si les dommages hivernaux ne posent pas de problèmes. Dans le cas contraire, on peut améliorer la survie de la parcelle en laissant une culture d'automne qui permettra de retenir la neige et d'offrir ainsi une protection supplémentaire.

Les critères relatifs aux dates de coupe des graminées (tableau 3) sont établis d'après le nombre de jours entre la première coupe et la date à laquelle il ne reste que 400 DJC à l'automne (J_{400}). Les graminées étant plus rustiques que la luzerne, on se préoccupe moins d'éviter les récoltes au cours de la période critique automnale.

Tableau 3. Critères relatifs à l'estimation des dates de coupe des graminées.

JOURS†	coupes	Critères-dates de coupe		
		1 ^{re}	2 ^e	3 ^e
≤25	0-2	480 UPT*	Facult. 55 jrs après 1 ^{re} coupe*	-
≥25	2-3	480 UPT	55 jrs après 1 ^{re} coupe	Facult. 55 jrs. après 2 ^e coupe*

† Nombre de jours entre la date à laquelle 480 UPT ont été accumulées au printemps jusqu'à J_{400} .

* On ne peut effectuer de coupe à moins de 30 jours de la fin de la saison de croissance.

2.2.3 Vérification des critères relatifs aux dates de coupe

Les critères relatifs aux dates de coupe de luzerne et de graminées (fléole des prés, brome et agropyre) ont été vérifiés en comparant les dates moyennes estimées selon les critères figurant aux tableaux 1 et 3, avec les dates moyennes de coupe observées à divers endroits (annexe 1). Les données observées proviennent de trois sources : a) essais sur les rendements de diverses variétés réalisés un peu partout au Canada (ex. : Ontario Forage Crops Committee, 1968; Comité de l'Atlantique sur les cultures, 1982; Comité d'experts sur les plantes fourragères, 1983); b) dossier sur la gestion des rendements de SIScan du Centre de recherches sur les terres, Agriculture Canada (communication personnelle de M. K.B. MacDonald); c) divers articles scientifiques. Une grande partie des données provenant des essais régionaux sur les rendements ont également servi à l'établissement des critères et, par conséquent, cette vérification n'est pas rigoureusement indépendante.

Les corrélations entre les dates moyennes de coupe estimées et les dates observées étaient élevées ($r > 0,83$) pour chacune des trois coupes de luzerne et la première coupe de graminées (tableau 4). Il était prévisible que la corrélation soit plus faible dans le cas de la deuxième coupe de graminées puisque la période critique de récolte automnale n'est généralement pas importante pour les graminées rustiques, ce qui offre plus de souplesse pour la planification des récoltes. Les coefficients de corrélation pour l'ensemble des coupes étaient très élevés ($r \geq 0,96$) puisque les dates de coupe sont aussi dépendantes de la fonction temps.

Tableau 4. Coefficients de corrélation (r) entre les dates moyennes de coupe estimées et observées - luzerne et graminées.

Culture	Coupe	Nombre de cas	r
Luzerne	1	44	0,92
Luzerne	2	28	0,95
Luzerne	3	8	0,98
Luzerne	1-4	81	0,99
Graminées	1	16	0,83
Graminées	2	10	0,41
Graminées	1-2	26	0,96

Les relations linéaires entre les dates de coupe estimées et les dates observées sont illustrées graphiquement à la figure 3. Ces essais démontrent que les critères relatifs aux dates de coupe indiqués aux tableaux 1 et 3 conviennent généralement à la luzerne et aux graminées.

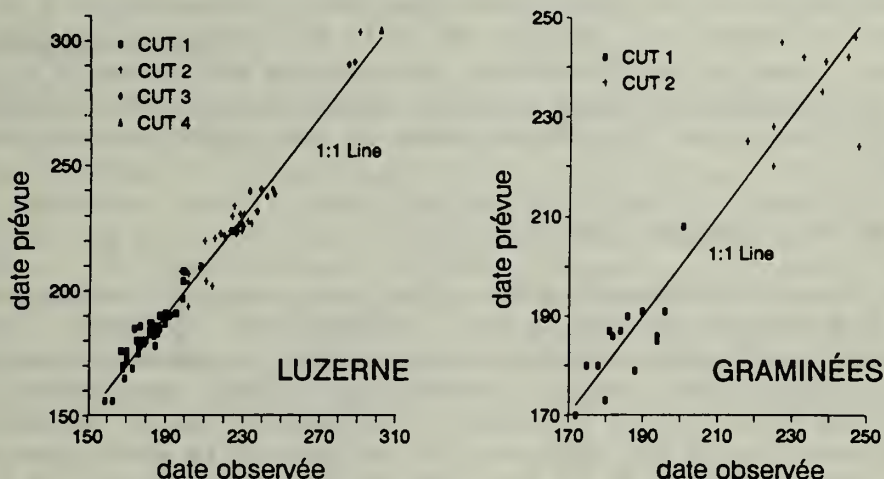


Figure 3. Comparaison entre les dates moyennes de coupe estimées et les dates observées (jour de calendrier) - jusqu'à quatre coupes de luzerne et deux coupes de graminées.

Cette vérification n'est cependant pas rigoureuse puisque : a) certaines observations ayant servi à l'établissement de dates moyennes de coupe proviennent de données recueillies pendant relativement peu d'années; b) on a souvent omis de noter le stade de maturité des plantes au moment de la coupe lequel peut varier, et c) les stations climatiques en question n'étaient peut-être pas toujours représentatives du site expérimental.

Par ailleurs, les données étaient insuffisantes pour permettre de vérifier statistiquement l'option 2 (tableau 2). Les cas sont toutefois assez nombreux pour laisser croire que cette option est une alternative valable sous certaines conditions.

2.3 Modifications additionnelles apportées au modèle de la FAO pour adaptation aux cultures fourragères

2.3.1 Conditions d'exploitation du terrain

Le manque d'informations pertinentes n'a pas permis d'évaluer les pertes durant la récolte en vue d'inclure ce facteur dans le modèle FORYLD. Les conditions d'exploitation du terrain dans le modèle de la FAO (Stewart, 1983) sont évaluées en fonction de l'humidité du sol pendant la période de récolte automnale. Hors, dans le cas des plantes fourragères, les pertes durant la récolte dépendent davantage des conditions qui prévalent au-dessus du sol (précipitation et évaporation) que de l'humidité du sol comme tel. Ce paramètre a donc été fixé à 1,0.

2.3.2 Pertes dues à la respiration

Dans le modèle de la FAO, la respiration d'entretien C_t se calcule de la manière suivante :

$$C_t = C_{30} (0,044 + 0,0019T + 0,0010T^2) \quad (7)$$

où C_{30} représente le coefficient de respiration d'entretien à 30 °C et T représente la température moyenne de l'air au cours de la saison de croissance. Dans le modèle FORYLD, les valeurs attribuées à C_{30} pour la luzerne et les graminées sont respectivement de 0,0283 et 0,0108 (soit les valeurs utilisées pour les légumineuses et les autres cultures dans le modèle de la FAO).

2.3.3 Indice de surface foliaire (LAI)

Le taux de croissance maximum de la culture utilisé dans le modèle de la FAO a été corrigé lorsque le LAI maximum était inférieur à 5,0 (Stewart, 1983). Cette correction influence directement la valeur de la production nette de biomasse sans facteur limitant (B_N) dans l'équation (1). Le LAI a également été utilisé pour répartir l'évaporation totale en deux paramètres, soit l'évaporation au sol sans couvert végétal et la transpiration de la plante. Dans le modèle de la FAO, les valeurs quotidiennes du LAI ont été simulées à partir de la progression durant la saison de croissance et en fonction des courbes LAI relatives aux cultures annuelles. Il a cependant été

démontré que ces courbes sous-estimaient l'indice type de surface foliaire relatif aux cultures vivaces qui est signalé dans les travaux antérieurs (Hunt et al., 1970; Carter et Sheaffer, 1983). Les méthodes utilisées pour estimer le LAI de la luzerne dans le modèle FORYLD sont basées sur les courbes types de LAI mentionnées dans la bibliographie. On a attribué une valeur de 6,5 au LAI maximum pour la première coupe et de 6,0 pour les deuxième et troisième coupes. Lorsque la dernière coupe a lieu à la fin de la saison de croissance, on attribue une valeur de 4,5 au LAI maximum. Le LAI maximum ne peut être atteint qu'après une période de croissance supérieure à 45 jours. Lorsque la durée de la saison de croissance (DSC) est égale ou inférieure à 45 jours, le LAI est calculé de la manière suivante:

$$\text{LAI} = \text{LAI maximum} \times \text{DSC} / \text{DSC max.} \quad (8)$$

où le LAI maximum est tel que mentionné plus haut et la DSC maximum est de 45 jours.

Dans le cas des graminées, le LAI maximum est établi à 6,0 pour la première coupe et à 4,0 pour les coupes subséquentes. La DSC maximale a été établie à 55 jours.

2.3.4 Début de la saison de croissance

Le modèle de la FAO suppose que le début de la saison de croissance des cultures annuelles correspond au jour où la température minimum moyenne quotidienne de l'air dépasse 5 °C (Stewart, 1983). La saison de croissance pour les plantes fourragères vivaces est plus longue; dans le modèle FORYLD, on suppose que le début de la saison coïncide avec le jour où la température quotidienne moyenne de l'air (au cours de la saison de croissance) (T_{MN}) dépasse 5 °C (Chapman et Brown, 1966). La première période de croissance a commencé au début de la saison de croissance et s'est terminée après la première récolte. Les périodes de croissances pour les pousses subséquentes ont débuté le premier jour suivant la coupe et se sont terminées le jour de la récolte.

2.3.5 Bilan hydrique du sol

Dans le modèle FORYLD, le calcul du bilan hydrique commence au printemps (au début de la saison de croissance en terme d'humidité) (Stewart, 1983) lorsque la moyenne de l'évapotranspiration potentielle (ETP) quotidienne dépasse pour la première fois la précipitation quotidienne moyenne (P) ou le premier jour où la T_{MN} est supérieure à 5 °C, selon l'événement qui se produit en dernier. La dernière date coïncide presque avec le moment où la profondeur moyenne de la couche de neige est inférieure à 2,5 cm pendant sept jours consécutifs, comme il est mentionné dans l'Atlas hydrologique du Canada (Pêches et Environnement Canada, 1978). Par conséquent, on a supposé que la surface du sol est dégélée et que l'évaporation se fait normalement après cette date.

2.3.6 Indice de récolte

Une valeur de 0,95 a été attribuée à l'indice de récolte (H_1) dans le modèle FORYLD, ce qui signifie que presque toute la production nette de biomasse pouvait être récoltée. On a supposé que les chaumes non récoltés et les résidus ne représentaient qu'un faible pourcentage (5 %).

2.4 Simulation du rendement potentiel net en matière sèche

2.4.1 Hypothèses relatives aux taux maximum de croissance

La production nette de biomasse sans facteur limitant (B_N) est fonction du b_{gm} , c'est-à-dire du taux maximum de production brute de biomasse (éq. 1). D'autre part, b_{gm} est influencé par le taux de production de biomasse les jours ensoleillés et couverts ainsi que par la portion de la journée où le ciel est couvert (Stewart, 1983). Par la suite, une correction est apportée au b_{gm} , selon le rendement photosynthétique foliaire maximum (P_m), lequel dépend de la température saisonnière moyenne pendant la journée (T_{mdt}) et de l'espèce cultivée. McBride et Brown (1984) ont calibré des courbes du rendement photosynthétique (P_m) par rapport à T_{mdt} pour six espèces de plantes fourragères (cultures C_3) en ayant recours à des données provenant d'essais sur des variétés de fourragères réalisés en Ontario. Les courbes relatives à la luzerne semi-hâtive et à la fléole des prés qui ont été intégrées dans le modèle FORYLD proviennent de McBride et Brown (1984) et se calculent comme suit :

luzerne :

$$P_m = -57,6446 + 8,2645 T_{mdt} - 0,2066 (T_{mdt})^2 \quad (9)$$

graminées :

$$P_m = 3,0667 T_{mdt} - 0,1022 (T_{mdt})^2 \quad (10)$$

Ces équations sont comparées avec la courbe P_m vs T_{mdt} utilisées pour les cultures C_3 dans le modèle de la FAO (fig. 4).

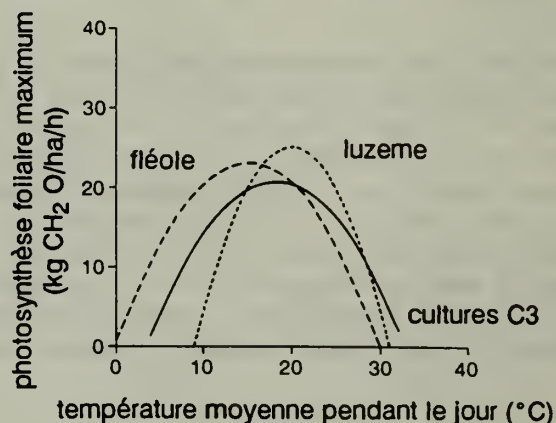


Figure 4. Rapport entre le rendement photosynthétique foliaire maximum (P_m) et la température moyenne au cours de la journée (T_{mdt}).

2.4.2 Validation du rendement potentiel (sans facteur limitant)

Les estimations du rendement potentiel des plantes fourragères sans stress hydrique (B_y , éq. 2) ont été comparées avec les rendements observés sur des sites d'essais régionaux de variétés à des endroits choisis au Canada (tableau 5). On a sélectionné les données obtenues au cours de plusieurs années et présentant les rendements les plus élevés, en supposant que le stress hydrique était nul ou faible ces années-là. Toutefois, étant donné qu'un certain stress peut survenir en raison de déficit hydrique même pendant les meilleures saisons, les rendements observés ne sont donc que des approximations du rendement potentiel. Des méthodes de gestion, tels que l'application d'engrais et les dates de récolte peuvent également influencer les rendements observés. Dans l'Ouest canadien, les rendements observés proviennent des données recueillies au cours d'essais en sol irrigué. Pour chaque année ayant fait l'objet d'essais, on a déterminé le rendement en faisant la moyenne des données relatives à des variétés standard sélectionnées. L'influence de l'âge des parcelles sur les rendements a été minimisée car on n'a utilisé que les données recueillies au cours des trois premières années suivant l'établissement.

Tableau 5. Comparaison entre les rendements potentiels moyens en matière sèche, estimés (EST) et observés (OBS) - a) luzerne et b) fléole des prés.

	Rendement en mat. sèche (t/ha) et rapp. des années d'essai											
Endroit	1 ^{re} coupe			2 ^e coupe			3 ^e coupe			Total		
	EST	OBS	n/N†	EST	OBS	n/N	EST	OBS	n/N	EST	OBS	
a) <u>Luzerne</u>												
Kamloops, C.-B.††	8,5	5,6	2/10	4,9	5,2	3/10	3,9	3,7	3/10	17,3	14,5	
Swift Current, Sask.††	9,1	9,5	4/13	5,8	5,5	4/13	-	-	-	14,9	15,0	
Ridgetown, Ont.	8,0	7,5	4/19	4,6	6,2	2/19	4,2	3,8	4/19	16,8	17,5	
Ottawa, Ont.	8,0	6,8	3/12	4,4	3,7	2/12	4,0	3,6	1/12	16,4	14,1	
<u>Charlottetown, I.-P.-É.</u>	<u>8,3</u>	<u>7,7</u>	<u>2/8</u>	<u>5,2</u>	<u>5,0</u>	<u>1/8</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>13,5</u>	<u>12,7</u>	
Moyenne :	8,4	7,4		5,0	5,1		4,0	3,7		15,8	14,8	
b) <u>Fléole des prés</u>												
Ridgetown, Ont.	8,9	8,3	2/11	4,7	4,2	2/10	-	-	-	13,6	12,5	
Ottawa, Ont.	8,6	7,8	3/19	5,0	5,0	2/15	-	-	-	13,6	12,8	
Kapuskasing, Ont.	9,3	6,8	2/16	5,7	4,9	2/16	-	-	-	15,0	11,7	
Truro, N.-É.	9,8	8,7	2/14	5,6	3,4	2/11	-	-	-	14,9	12,1	
<u>Charlottetown, I.-P.-É.</u>	<u>9,4</u>	<u>8,9</u>	<u>3/17</u>	<u>5,5</u>	<u>4,2</u>	<u>3/16</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>14,5</u>	<u>12,4</u>	
Moyenne :	9,2	8,1		5,3	4,3		-	-	-	14,5	12,4	

† n représente le nombre d'années pour lesquelles on a recueilli les données (rendements élevés) utilisées pour calculer les valeurs OBS; N représente le nombre total d'années pour lesquelles il existait des données sur les rendements.

†† Les données sur les rendements proviennent d'essais sur les variétés réalisés en sol irrigués à ces endroits.

Les rendements potentiels en matière sèche estimés à partir du modèle FORYLD ont été, en moyenne, supérieurs d'environ 1 t/ha aux rendements observés (tableau 5). A plusieurs endroits, les rendements prévus étaient de 3 t/ha plus élevés que les valeurs observées (ex. : la première coupe de luzerne à Kamloops; la première coupe de fléole à Kapuskasing). Les faibles rendements observés à ces endroits sont probablement attribuables à des niveaux de gestion non optimum ou au stress hydrique. Dans plusieurs cas, les estimations du modèle étaient inférieures aux rendements observés (ex. : la deuxième coupe de luzerne à Ridgetown). Cette situation peut s'expliquer par les différences entre la durée de la période de croissance ayant servi au modèle et celle qui a prévalu dans le cadre des essais. On peut également l'attribuer à des températures moyennes ou au rayonnement solaire supérieurs à la normale au cours de la période de croissance. Toutefois, étant donné que les estimations du modèle étaient basées sur des normales à long terme, il n'a pas été possible de déterminer avec certitude les raisons justifiant les différences de rendement.

Les rendements potentiels estimés en matière sèche ont été comparés avec les valeurs observées à d'autres endroits non mentionnés au tableau 5. Dans la plupart des cas, les rendements observés étaient inférieurs aux valeurs estimées. Les différences les plus importantes ont été observées dans le cas des premières coupes de luzerne, pour lesquelles les rendements potentiels observés étaient généralement inférieurs de 2 à 3 t/ha aux rendements estimés. Il est probable que, même au cours des meilleures années, les plantes fourragères cultivées dans le cadre d'essais de rendement régionaux ne fournissent pas toujours le rendement potentiel maximum en raison de pratiques de gestion non optimales (c.-à-d. la fertilité), du stress hydrique et des dommages causés par l'hiver.

Globalement, le modèle semble offrir des estimations valables du rendement potentiel (sans facteur limitant) des plantes fourragères. Les essais comparatifs ne constituent qu'un indicateur général et non une vérification rigoureuse du modèle. Les différences de rendements potentiels estimés de chacune des coupes entre les divers sites d'essais sont relativement faibles. Ces résultats étaient prévisibles étant donné que les rendements potentiels ne sont qu'influencés par la température, le rayonnement solaire et la durée de la période de croissance et non par l'apport d'humidité. Le rendement potentiel est principalement fonction du nombre de coupes de plantes fourragères réalisables à un endroit donné.

2.5 Simulation des rendements prévus (sol non irrigué) en matière sèche

2.5.1 Méthodes de modélisation et modifications apportées

Dans le modèle de la FAO, les rendements prévus en matière sèche (sol non irrigué) (B_{ya}) sont estimés en réduisant les rendements potentiels (B_y) par un facteur de stress hydrique (SH) calculé à partir du rapport ET/ETP (voir section 2.1, éq. 3 et 4). Les rendements estimés à l'aide du facteur de stress hydrique calculé selon les méthodes de la FAO ont été comparés avec les rendements moyens observés au cours d'essais régionaux sur les rendements de variétés, réalisés à seize endroits au Canada dans le cas

des deuxièmes coupes de luzerne et à neuf endroits dans le cas des deux coupes de fléole. On a supposé que le facteur de comportement du rendement (K_y) était respectivement de 1,0 et 1,1 pour la luzerne et la fléole. La capacité de rétention d'eau disponible a été estimée à partir des classes texturales tirées de rapports d'essais ou communiquées directement par des collaborateurs. Le rapport entre la granulométrie du sol et la capacité de rétention d'eau disponible est tiré des travaux de DeJong et Shields (1988) et figure au tableau 6.

L'application directe de ces correspondances au modèle modifié de la FAO n'a cependant pas donné de résultats satisfaisants. Les rendements des plantes fourragères ont été surestimés en moyenne d'environ 70 % et 26 % respectivement pour les deux premières coupes de luzerne et d'environ 40 % et 70 % respectivement pour les deux premières coupes de fléole. Les estimations

Tableau 6. Rapport entre la capacité de rétention d'eau disponible du sol et les classes texturales (source : DeJong et Shields, 1988).

Cap.rét.eau disp. (mm)	Classes texturales
50	sable; sable loameux
100	loam sableux
150	loam sableux très fin; argile
200	loam limoneux; argile sableuse; loam argileux
250	loam limono-argileux; argile sableuse; argile limoneuse; argile; argile lourde.

variaient relativement peu en fonction de K_y et de la capacité de rétention d'eau disponible et n'ont donc pas pu être améliorées en corrigeant ces paramètres. C'est pourquoi il a fallu avoir recours à une autre méthode pour calculer le SH.

La méthode retenue est celle de McBride et Brown (1984), dans laquelle le SH dépend d'un paramètre désigné comme le déficit-surplus hydrique du sol (DSHS). On le calcule de la manière suivante :

$$DSHS = P + \theta_i - ETP \quad (11)$$

où P désigne les précipitations totales au cours de la période de croissance;
 θ_i désigne la teneur en eau du sol assimilable par la plante au début de la période de croissance;
 et ETP désigne l'évapotranspiration potentielle totale au cours de la période de croissance.

McBride et Brown (1984) ont corrigé le rapport entre le SH et le DSHS à partir de données annuelles sur les rendements des plantes fourragères, recueillies au cours d'essais sur les rendements de variétés réalisés en Ontario. Toutefois, les conditions étant beaucoup plus sèches dans les prairies, on a dû recorriger la courbe du SH vs le DSHS en traçant la courbe des valeurs réelles de SH vs le DSHS pour tous les sites expérimentaux où on avait recueilli des données sur les rendements de luzerne et de fléole. On a tracé une courbe manuelle des valeurs de SH les plus élevées (en supposant que les valeurs plus faibles étaient attribuables à une gestion imparfaite ou à une faible persistance de la parcelle). Les valeurs réelles du SH ont été calculées de la manière suivante :

$$SH = \frac{B_a}{B_y} \quad (12)$$

où B_a représente la moyenne des rendements en matière sèche observés au cours de toutes les années ayant fait l'objet d'essais régionaux de rendements sur les variétés.

B_y représente le rendement potentiel net en matière sèche (sans facteur limitant) estimé selon le modèle FORYLD.

Le rapport entre le SH et le DSHS utilisé dans le modèle FORYLD est illustré à la figure 5. On le représente mathématiquement à l'aide de l'équation polynomiale cubique suivante :

$$SH = 0,594 + 2,426 \text{ DSHS} - 1,423(\text{DSHS})^2 - 7,905(\text{DSHS})^3 \quad (13)$$

où DSHS est en mètres. Cette valeur estimée du SH a par la suite été utilisée dans les calculs du rendement prévu en matière sèche (B_{ya}).

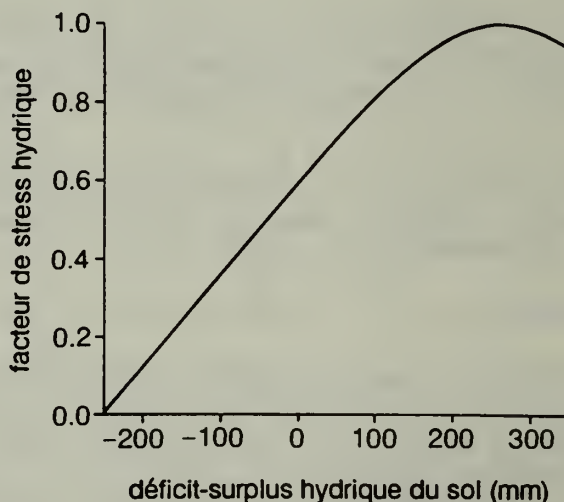


Figure 5. Rapport entre le facteur de stress hydrique (SH) et le déficit-surplus hydrique du sol (DSHS).

Conformément aux conclusions de McBride et Brown (1984), il s'est avéré que cette relation était également valable pour la luzerne et la fléole, et qu'elle s'appliquait à toutes les coupes.

2.5.2 Validation des rendements prévus (sol non irrigué) en matière sèche (B_{ya})

a) Validation des rendements de luzerne et de fléole

Les estimations du modèle ont été comparées aux rendements moyens observés à des endroits choisis au Canada où l'on a pratiqué jusqu'à trois coupes de luzerne (tableau 7) et deux coupes de fléole (tableau 8), afin de vérifier le mieux possible les estimations de rendements prévus en matière sèche fournies par le modèle FORYLD. Les rendements moyens observés ont été calculés en établissant la moyenne des rendements annuels observés au cours d'essais sur les variétés fourragères réalisés dans diverses régions au Canada (ex. : Ontario Forage Crops Committee, 1968; Comité de l'Atlantique sur les cultures, 1982; Comité d'experts sur les plantes fourragères, 1983). Seuls les rendements basés sur les données recueillies au cours des premières années suivant celle de l'établissement ont été utilisées pour le calcul des moyennes. On a ainsi minimisé les effets reliés à la réduction de la persistance de la parcelle et aux dommages hivernaux. Lorsque les résultats des essais démontraient que les dommages hivernaux étaient importants, on n'a pas tenu compte des rendements en question dans le calcul de la moyenne. La source des données relatives à la capacité de rétention d'eau disponible utilisées pour estimer B_{ya} est mentionnée dans les tableaux. Les valeurs attribuées à la capacité de rétention d'eau disponible ont été estimées soit à partir des classes texturales relatives aux sites expérimentaux, selon les classes figurant au tableau 6, soit à partir des estimations provenant des travaux de McBride et Brown (1984). Le nombre d'années ayant fait l'objet d'essais régionaux de variétés pour lesquels on a utilisé des données dans le calcul des rendements moyens observés est également mentionné dans les tableaux. Pour certaines années, à certains endroits, les données ont été recueillies au cours de plusieurs essais.

Les rendements moyens estimés de luzerne pour l'ensemble des coupes n'ont été que de 0,6 t/ha supérieurs aux rendements moyens observés aux douze sites expérimentaux (tableau 7). La corrélation entre les rendements estimés et observés de luzerne était bonne ($r = 0,91$) pour l'ensemble des coupes à chacun des endroits et le ratio des valeurs était près de 1:1 (figure 6). Pour la fléole des prés, la différence entre le rendement estimé moyen à tous les endroits et les rendements moyens observés était d'au plus 0,3 t/ha pour les deux coupes (tableau 8). A certains endroits, les rendements estimés dépassaient les rendements observés par plus de 1 t/ha (ex. : pour la première coupe de luzerne à Indian Head, Kapuskasing et Truro; pour la première coupe de fléole à Frédéricton, la deuxième coupe à Kapuskasing, Kemptville et Truro).

Tableau 7. Comparaison entre les rendements moyens prévus (sol non irrigué) - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Luzerne.

Endroit	Cap. rét. d'eau disp.	Rend. moy. obs. (t/ha) # d'années-essais*				Rend.est.(t/ha)			
		C.1	C.2	C.3	T	C.1	C.2	C.3	T
Lacombe, Alb.	200	4,0/20	2,8/20	-	6,8	5,3	3,4	-	8,7
Indian Head, Sask.	250	3,0/26	2,4/7	-	5,4	4,9	2,9	-	7,8
Swift Current, Sask.	150	2,3/37	1,5/18	-	3,8	2,1	1,4	-	3,5
Brandon, Man.	200	3,9/22	2,3/22	-	6,2	4,8	2,8	-	7,0
Guelph, Ont.	130†	4,9/37	3,2/35	2,7/29	10,8	5,9	2,4	2,4	10,6
Kapuskasing, Ont.	50†	3,4/27	2,4/27	-	5,8	4,7	2,8	-	7,5
Kemptville, Ont.	100†	5,1/24	2,4/20	2,5/18	10,0	5,0	2,1	2,2	9,3
New Liskeard, Ont.	70†	4,7/22	2,9/20	-	7,6	4,5	2,8	-	7,2
Ottawa, Ont.	130†	4,9/26	2,8/26	2,3/25	10,0	5,5	2,5	2,4	10,3
Ridgetown, Ont.	200	6,0/47	3,9/47	3,0/25	12,9	6,8	3,1	2,7	12,7
Truro, N.-É.	100	4,2/12	2,9/12	-	7,1	6,0	3,2	-	9,3
Charlottetown, I.-P.-É.	150	6,0/20	3,2/20	-	9,2	6,2	3,3	-	9,5
Moyenne		4,4	2,7	2,6	8,0	5,1	2,7	2,4	8,6

† Valeurs de capacité de rétention d'eau disponible du sol tirées des travaux de McBride et Brown (1984); les autres valeurs sont estimées à partir des classes texturales (voir tableau 6).

* Les données peuvent inclure plus d'un essai par saison à chaque endroit.

Tableau 8. Comparaison entre les rendements moyens prévus (sol non irrigué) - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Fléole des prés.

Endroit	Cap. rét. d'eau	Rend. moy. obs. (t/ha)/# d'années-essais*			Rend.est. (t/ha)		
		Coupe 1	Coupe 2	Total	Coupe 1	Coupe 2	Total
Guelph, Ont.	130†	7,4/28	2,3/24	9,7	6,4	2,7	9,1
Kapuskasing, Ont.	50†	4,4/32	2,5/30	6,9	5,0	3,7	8,8
Kemptville, Ont.	100†	6,0/14	3,6/8	9,6	5,4	2,1	7,5
Ottawa, Ont.	130†	5,2/53	2,3/33	7,5	5,9	2,5	8,5
Ridgetown, Ont.	200	6,6/14	2,9/13	9,5	7,5	2,7	10,2
Frédéricton, N.-B.	100	5,2/53	2,3/33	7,5	6,2	2,9	9,1
Truro, N.-É.	100	6,4/15	2,4/12	8,8	6,6	3,6	10,3
Charlottetown, I.-P.-É.	150	7,0/20	3,1/19	10,0	7,0	3,4	10,4
Moyenne		6,0	2,7	8,7	6,3	3,0	9,2

† Valeurs de capacité de rétention d'eau disponible du sol tirées des travaux de McBride et Brown (1984); les autres valeurs sont estimées à partir des classes texturales (voir tableau 6).

* Les données peuvent inclure plus d'un essai par saison à chaque endroit.

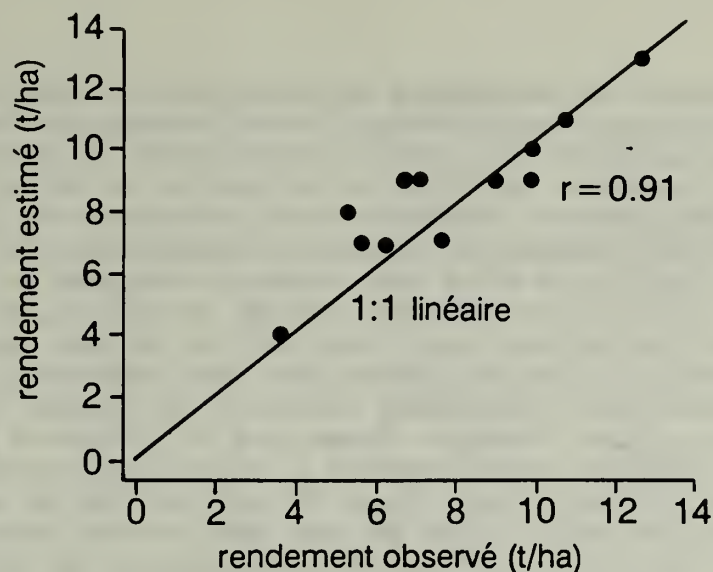


Figure 6. Comparaison entre les rendements prévus moyens en matière sèche - estimés et observés - de toutes les coupes de luzerne (deux - trois coupes).

Plusieurs raisons peuvent justifier certaines différences importantes entre les rendements estimés et les rendements observés : (i) la capacité de rétention d'eau disponible du sol n'est qu'une approximation; dans de nombreux cas, les rendements estimés correspondraient aux valeurs observées si la capacité de rétention d'eau disponible était réduite d'une classe (50 mm) ou moins; (ii) les conditions climatiques au cours des saisons d'essais peuvent être différentes de la normale, surtout lorsqu'il y a relativement peu de saisons en cause; et (iii) les rendements observés peuvent être influencés par le type de gestion, la persistance de la parcelle, la rusticité et les différences variétales. Bien que ces essais ne constituent pas une vérification rigoureuse du modèle, ils démontrent que le modèle FORYLD fournit des estimations valables relativement aux rendements de luzerne et de fléole en sol non irrigué. Sans avoir effectué de comparaisons particulières avec les rendements de brome, il est probable que les rendements et les calendriers de coupe soient semblables à ceux de la fléole.

b) Validation des rendements d'agropyre

Les rendements observés d'agropyre à crête et d'agropyre intermédiaire proviennent de rapports d'essais régionaux réalisés dans l'Ouest du Canada, à partir desquels on a aussi calculé les moyennes (Comité d'experts sur les plantes fourragères, 1983). On n'a utilisé que les données relatives aux trois premières années suivant celle de l'établissement. Les comparaisons entre les rendements observés de graminées et les rendements estimés selon le modèle FORYLD sont présentées au tableau 9 (agropyre à crête) et au tableau 10 (agropyre intermédiaire).

Pour estimer les rendements, on attribue une valeur de 200 mm à la capacité de rétention d'eau disponible du sol à moins d'avoir accès à des données sur la texture du sol. Dans ce dernier cas, on a eu recours au tableau 6 pour déterminer la valeur de la capacité de rétention d'eau. A tous les endroits, les rendements moyens estimés variaient d'au plus 0,1 t/ha des rendements observés d'agropyre à crête et d'agropyre intermédiaire. Toutefois, les différences entre les rendements observés et les rendements estimés à des endroits précis étaient souvent de 0,5 t/ha ou plus. Ces différences sont prévisibles étant donné que les valeurs attribuées à la capacité de rétention d'eau disponible sont très approximatives et que les rendements observés sont fréquemment basés sur des données recueillies au cours de peu de saisons d'essais. Comme pour la luzerne et la fléole, les estimations de rendement coïncideraient la plupart du temps avec les valeurs observées si on réduisait d'une classe (50 mm) ou moins la capacité de rétention d'eau disponible. Bien que ces résultats ne constituent pas une vérification rigoureuse du modèle, ils démontrent que le volet traitant des graminées dans le modèle FORYLD fournit une estimation valable des rendements prévus en matière sèche pour l'agropyre à crête et l'agropyre intermédiaire.

3. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Le modèle modifié de la FAO a été utilisé avec succès pour estimer les rendements potentiels et prévus en matière sèche de luzerne et de plusieurs espèces de graminées cultivées au Canada. Le modèle ne permet pas de particulariser les différentes espèces de graminées, c'est-à-dire que les estimations fournies portent sur les rendements de l'espèce la mieux adaptée à la région, qu'il s'agisse de fléole des prés, de brome ou d'agropyre à crête ou intermédiaire. On a par ailleurs élaboré des sous-programmes permettant d'estimer les périodes de croissance et les calendriers de coupe relatifs à la luzerne et aux graminées, étant donné que ces aspects sont déterminants dans le cadre du modèle; les rendements sont souvent fortement dépendants du nombre de coupes qui peuvent être effectuées. On a de plus modifié le modèle de la FAO en : (i) corrigeant la courbe illustrant le rapport entre le rendement photosynthétique maximum et la température, (ii) changeant la méthode utilisée pour calculer le LAI et (iii) en modifiant la méthode utilisée pour déterminer le facteur de stress hydrique lequel permet de dériver les rendements prévus à partir des rendements potentiels (sans facteur limitant).

Il est impossible de vérifier avec précision un modèle comme le FORYLD qui permet de calculer les rendements moyens à partir de normales climatiques, car il est difficile de recueillir à long terme des données sur les rendements observés qui proviennent de divers endroits. Néanmoins, les vérifications présentées ici démontrent que les estimations fournies par le modèle diffèrent de plus ou moins 1 t/ha des valeurs observées; à certains endroits, cette différence peut cependant être de plus ou moins 2 t/ha. Les différences plus importantes qui existent entre les estimations de rendement fournies par le modèle et les rendements moyens observés en champ, à certains endroits, sont probablement dues à des variations dans la gestion, dans la persistance de la parcelle ou aux dommages hivernaux. On n'a pas tenu compte de ces paramètres dans le présent modèle.

Tableau 9. Comparaison entre les rendements moyens prévus (sol non irrigué) - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Agropyre à crête.

Endroit	C.rét. d'eau	Coupe N°	Années/ essais	Rend. MS t/ha	
				Obs.††	Est.
Lacombe, Alb.	200*	1	3	5,8	5,9
Indian Head, Sask.	200*	1	4	5,3	4,6
Melfort, Sask.	200	1	3	4,9	4,7
Melfort, Sask.	200	2	3	2,4	2,9
Saskatoon, Sask.	200	1	14	4,5	3,7
Swift Current, Sask.	250*	1	6	2,1	2,8
St-Claude, Man.	200	1	3	6,1	5,9
St-Claude, Man.	200	2	3	2,0	2,5
Moyenne				4,1	4,1

† Les relevés climatiques provenant de Derwood, Man., ont été utilisés pour l'estimation des rendements.

†† La moyenne peut avoir été calculée à partir de résultats provenant de plus d'un essai au cours d'une même saison.

* La capacité de rétention d'eau disponible est basée sur les classes texturales; toutes les autres valeurs sont hypothétiques.

Tableau 10. Comparaison entre les rendements moyens prévus (sol non irrigué) - observés et estimés - en matière sèche (B_{ya}). Agropyre intermédiaire.

Endroit	C.rét. d'eau	Coupe N°	Années/ essais	Rend. MS t/ha	
				Obs.††	Est.
Beaverlodge, Alb.	200	1	8	5,1	6,0
Beaverlodge, Alb.	200	2	6	2,1	3,8
Lacombe, Alb.	200*	1	4	6,3	5,9
Lacombe, Alb.	200*	2	4	3,8	3,7
Lethbridge, Alb.	200	1	8	4,3	4,3
Lethbridge, Alb.	200	2	2	2,3	1,5
Indian Head, Sask.	200*	1	12	4,4	4,6
Melfort, Sask.	200	1	6	5,5	4,7
Saskatoon, Sask.	250*	1	9	4,2	3,7
Swift Current, Sask.	200*	1	11	2,4	2,8
Swift Current, Sask.	200*	2	4	0,5	1,2
Moyenne				3,7	3,8

†† La moyenne peut avoir été calculée à partir de résultats provenant de plus d'un essai au cours d'une même saison.

* La capacité de rétention d'eau disponible est basée sur les classes texturales; toutes les autres valeurs sont hypothétiques.

Les estimations de rendement fournies par le modèle FORYLD, lorsque ce dernier est utilisé avec les données climatiques appropriées dans un contexte géographique, devraient constituer une source utile d'informations pour des études sur l'évaluation des terres. Les rendements estimés représentent des niveaux de production qui peuvent être atteints en sol irrigué (rendement potentiel) et en sol non irrigué (rendement prévu) au cours des premières années suivant l'établissement, sous des conditions de gestion idéales et sans perte associée à l'hiver.

Au cours des dernières années, on s'est de plus en plus penché sur la détermination des risques associés à la production des cultures en termes de variations de rendements au cours des années, dans le contexte de l'évaluation des terres (Dumanski et Kirkwood, 1988). Toutefois, étant donné que le modèle FORYLD ne permet pas d'estimer les rendements sur une base annuelle, il ne fournit pas non plus l'évaluation du facteur de risque associé à la production de plantes fourragères. D'autres travaux relatifs aux méthodes de modélisation sont en cours et ils permettront d'estimer les rendements des plantes fourragères sur une base annuelle, intégrant ainsi le facteur de risque. Entre-temps, les estimations fournies par le modèle FORYLD offriront une source d'informations permettant de faciliter l'évaluation des terres en ce qui a trait à la possibilité d'y cultiver des plantes fourragères ainsi que l'évaluation des effets potentiels de l'irrigation sur les rendements. Ce modèle pourra également faciliter l'évaluation des conséquences éventuelles de diverses possibilités de changements climatiques sur les rendements des plantes fourragères au Canada.

4. BIBLIOGRAPHIE

- Allard, H.A.; Evans, M.W. 1941. Growth and flowering of some tame and wild grasses in response to different photoperiods. J. Agric. Res. 62:193-228.
- Bootsma, A. 1984. Forage crop maturity zonation in the Atlantic region using growing degree-days. Can J. Plant Sci. 64:329-338.
- Bootsma, A.; Suzuki, M. 1985. Critical autumn harvest period for alfalfa in the Atlantic region based on growing degree-days. Can. J. Plant Sci. 65:573-580.
- Carter, P.R.; Sheaffer, C.C. 1983. Alfalfa response to soil water deficits. I. Growth, forage quality, yield, water use, and water-use efficiency. Crop Science. 23: 669-675.
- Chapman, L.J.; Brown, D.M. 1966. Les climats du Canada et l'agriculture. Rapport sur l'inventaire des terres du Canada n° 3, Édition révisée 1978, Environnement Canada, Direction générale de la recherche, Ottawa. 24 p.
- Clayton, J.S.; Ehrlich, W.A.; Cann, D.B.; Day, J.H.; Marshall, I.B. 1977. Soils of Canada, Vol. 1 et 2. Direction de la recherche, Agriculture Canada, Ottawa. 239 p.
- Comité de l'Atlantique sur les cultures. 1982. Forage evaluators reports. Distribué par : Département de phytologie, Collège d'agriculture de la Nouvelle-Écosse, Truro, N.-É. 60 p.
- Comité d'experts sur les plantes fourragères. 1983. Uniform variety tests of forage crops, contributed by research workers in western Canada (1983). Publié par Agriculture Canada, Direction générale de la recherche. 170p.
- DeJong, R.; Shields, J.A. 1988. Available water-holding capacity maps of Alberta, Saskatchewan and Manitoba. Can. J. Soil Sci. 68:157-163.
- DeRuiter, J.M.; Taylor, A.O. 1979. Annual cool-season legumes for forage III. Effects of temperature photoperiod and vernalisation on flowering. N.Z. J. Exp. Agric. 7:153-156.
- DeWit, C.T. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Agric. Res. Rep. 663. Centre Agric. Public. Docum., Wageningen. 57 p.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome. 193 p.
- Dumanski, J.; Stewart, R.B. 1983. Crop production potentials for land evaluation in Canada. Agriculture Canada, Direction générale de la recherche, Institut de recherche sur les terres. Publication 1983-13E. 80 p.

- Dumanski, J.; Kirkwood, V. 1988. Crop production risks in the Canadian prairie region in relation to climate and land resources. Agriculture Canada, Direction générale de la recherche, Bulletin technique 1988-5E. 144 p.
- Evans, M.W.; Allard, H.A. 1934. Relation of length of day to the growth of timothy. J. Agric. Res. 48:571-586.
- Evans, M.W.; Wilsie, C.P. 1946. Flowering of brome grass, Bromus inermis, in the greenhouse as influenced by length of day, temperature, and level of fertility. J. Amer. Soc. Agron. 38:923-932.
- FAO. 1978. Report on the Agro-ecological zones project, Vol. 1. Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report 48, FAO, Rome. 158 p.
- Fulkerson, R.S. 1970. Location and fall harvest effects in Ontario on food reserve storage in alfalfa (Medicago sativa L.). Dans : Proc. XI Int, Grassland Congress, Univ. of Queensland Press, Queensland, Australia. pp. 555-559.
- Gasser, H.; Lachance, L. 1969. Effect of dates of cutting on dry matter production and chemical content of alfalfa and birdsfoot trefoil. Can. J. Plant Sci. 49:339-349.
- Harcourt, D.G. 1984. Unités thermiques pour la luzerne - sud de l'Ontario. Agriculture Canada, Ottawa, Canadex 121.10. 2 p.
- Hunt, L.A.; Moore, C.E.; Winch, J.E. 1970. Light attenuation coefficient and productivity in Vernal alfalfa. Can. J. Plant Sci. 50:469-474.
- Irvine, R.B.; McElgunn, J.D. 1982. Effects of eight three-cut harvesting schedules on production of alfalfa forage under irrigation in southwestern Saskatchewan. Can. J. Plant Sc. 62:107-110.
- Kilcher, M.R.; Heinrichs, D.H. 1974. Interpretive difficulties with erratic data from perennial forage crops grown in a semiarid region. Can J. Plant Sci. 54:457-462.
- Kirkwood, V.; Dumanski, J.; Bootsma, A.; Stewart, R.B.; Muma, R. 1989. The land potential data base for Canada, User's handbook. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Bulletin technique 1983-4E. 53 p.
- Ludwig, R.A.; Barrales, H.G.; Steppeler, H. 1953. Studies on the effect of light on the growth and development of red clover. Can. J. Agric. Sci. 33:274-287.
- Lutwick, L.E.; Smith, A.D. 1977. Yield and composition of alfalfa and crested wheatgrass, grown singly and in mixture, as affected by N and P fertilizers. Can J. Plant Sci. 57:1077-1083.

- McBride, R.A.; Brown, D.M. 1984. A study of crop modelling alternative for the hay and pasture insurance plan in Ontario. Rapport préparé pour le compte de la Commission de l'assurance-récolte de l'Ontario, Toronto. Vol. 1 et 2. 166 p.
- Ontario Forage Crops Committee. 1968. Forage Crops Investigations - Ontario. Report on Field Trials of Varieties and Mixtures. Rapport non publié.
- Pêches et Environnement Canada. 1978. Atlas hydrologique du Canada. Carte 10: Dates d'apparition et de disparition de la couverture neigeuse. Approvisionnement et Services Canada, Ottawa, Ont., n° de catalogue En 37-26/1978.
- Stewart, R.B. 1983. Modelling methodology for assessing crop production potentials in Canada. Agriculture Canada, Direction générale de la recherche, Publication 1983-12E, Ottawa, Ontario. 29 p.
- Stout, D.G. 1986. The critical fall harvest period for alfalfa in interior British Columbia. Can J. Plant Sci. 66:565-578.
- Woolley, D.G.; Wilsie, C.P. 1961. Cold unit accumulation and cold hardiness of alfalfa. Crop Sci. 1:165-167.

5. ANNEXE

Annexe 1. Dates moyennes de coupe observées et estimées, utilisées pour vérifier les critères relatifs aux dates de coupe.

A. 1 ^{re} COUPE - LUZERNE									
Endroit	Dates de coupe Est.	Obs.†	Années d'essais	Source des données††	Endroit	Dates de coupe Est.	Obs.†	Années d'essais	Source des données††
C.-B.					SASK. (suite)				
Creston	18 juin	17 juin	3	a	Saskatoon	27 juin	4 juin†	2	a
Kamloops	5 juin	12 juin†	7	a	Saskatoon	27 juin	26 juin†	2	a
Kamloops	5 juin	8 juin	5	c1	Swift Current	29 juin	26 juin†	11	a
					Swift Current	29 juin	24 juin†	8	c3
					Swift Current	29 juin	27 juin	8	a
ALBERTA									
Beaverlodge	10 juin	9 juin†	8	a	MANITOBA				
Calgary	9 juin	11 juin†	3	b	Brandon	26 juin	25 juin	2	a
Calgary-Turner Valley	16 juin†	18 juin†	9	b	Winnipeg	25 juin	19 juin	2	a
Calgary-Gleichen	5 juin†	2 juin†	4b	b					
Clareholm	2 juin	2 juin†	8	b	ONTARIO				
Edmonton	4 juin	23 juin	2	a	Etora	25 juin	16 juin†	3	a
Edmonton	4 juin	6 juin†	3	b	Guelph	22 juin	19 juin	7	a
Edmonton-Rochester	5 juin†	5 juin†	4	b	Kapuskasing	10 juin	14 juin†	7	a
Fort Vermilion	3 juin	5 juin†	5	a	Kemptville	19 juin	17 juin	5	a
Lacombe	6 juin	5 juin†	8	a	New Liskeard	2 juin	1 juin†	5	a
Lethbridge†	28 juin	28 juin†	4	a	Ottawa	18 juin	22 juin	6	a
Lethbridge	28 juin	26 juin†	4	a					
Olds	10 juin	14 juin†	14	b	Ridgetown	14 juin	18 juin	10	a
					Thunder Bay	9 juin	6 juin†	4	a
Pekisko-Turner Valley	21 juin	27 juin†							
Pincher Creek	10 juin	15 juin†	3	c2	QUÉBEC				
Turner Valley	23 juin	18 juin†	9	b	Lennoxville	24 juin	25 juin	2	c4
Vulcan†	3 juin	4 juin†	5	b					
SASKATCHEWAN					PROV. DE L'ATLANTIQUE				
Choiceland	29 juin	3 juin†	2	a	Charlottetown	6 juin	27 juin†	9	a
Indian Head	1 juin	29 juin†	2	a	Frédéricton	29 juin	1 juin†	6	a
Melfort			4	a	Napan	6 juin	19 juin†	7	a
					St-Jean Ouest	27 juin	26 juin	9	a
					Truro	5 juin†		14	a

B. 2 ^e COUPE - LUZERNE									
Endroit	Dates de coupe		Années	Source	Endroit	Dates de coupe		Années	Source
	Est.	Obs.†	d'essais	des données††		Est.	Obs.†	d'essais	des données††
C.-B. Creston Kamloops	21 juil 13 juil	2 août 21 juil	3 2	a a	MANITOBA Brandon Winnipeg	9 août 8 août	3 août 29 juil	2 2	a a
ALBERTA Edmonton Fort Vermilion Lethbridge Lethbridge Vulcan	17 août 12 août 11 août 11 août 16 août	11 août 15 août 6 août 14 août 20 août	3 5 10 2 4	a a a b b	ONTARIO Elora Guelph Kemptville New Liskeard Ottawa Ridgetown Thunder Bay	27 juil 26 juil 23 juil 15 août 23 juil 23 juil 22 août	17 juil 21 juil 19 juil 22 août 30 juil 22 juil 13 août	3 5 5 3 6 9 3	a a a a a a a
SASKATCHEWAN Choiac Indian Head Melfort Tisdale Saskatoon Swift Current Swift Current	15 août 12 août 14 août 14 août 10 août 12 août 12 août	17 août 13 août 15 août 18 août 8 août 14 août 12 août	2 2 4 2 4 1 3	a a a a a a a	PROV. DE L'ATLANTIQUE Charlottetown Fredericton Nappan St-Jean Ouest Truro	19 août 12 août 19 août 31 oct 18 août	16 août 17 août 18 août 18 oct 12 août	9 7 9 4 12	a a a a a
C. 3 ^e COUPE - LUZERNE									
D. 4 ^e COUPE - LUZERNE									
B.-C. Kamloops	20 août	25 août	2	a	B.-C. Kamloops	1 nov	29 oct	2	a
SASKATCHEWAN Swift Current	19 oct	15 oct	4	a					
MANITOBA Brandon	18 oct	12 oct	2	a					
ONTARIO Elora Guelph Kemptville Ottawa Ridgetown	28 août 29 août 26 août 27 août 29 août	22 août 27 août 30 août 3 sept 2 sept	3 4 5 4 9	a a a a a					

Annexe 1. (suite)

E. 1^{re} COUPE - GRAMINÉES

Endroit	Dates de coupe Est.	Obs. †	Années d'essais	Source des données ††	F. 2 ^e COUPE - GRAMINÉES	Endroit	Dates de coupe Est.	Obs. †	Années d'essais	Source des données ††
---------	------------------------	--------	--------------------	-----------------------------	-------------------------------------	---------	------------------------	--------	--------------------	-----------------------------

ALBERTA									
Edmonton	4 juil	13 juil	5	b					
Edmonton-									
Rochester	5 juil ^q	12 juil	5	b					
Lethbridge	28 juil	7 juil ^m	4	b					
Pincher Creek	10 juil	15 juil ^{em}	3	c2					
Swift Current	29 juil	24 juil ^{dhm}	7	c5					

ONTARIO									
Guelph	22 juil	29 juil	12	a					
Kapuskasing	10 juil	9 juil	5	a					
Kemptville	19 juil	21 juil	5	a					
Ottawa	18 juil	25 juil	6	a					
Ridgetown	14 juil	21 juil	3	a					
Thunder Bay	9 juil	5 juil	4	a					

PROV. DE L'ATLANTIQUE									
Charlottetown	6 juil	3 juil	10	a					
Fredericton	29 juil	27 juil ^h	12	a					
Nappan	6 juil	30 juil	9	a					
St-Jean Ouest	27 juil	20 juil	4	a					
Truro	5 juil ^p	1 juil ^h	9	a					

ONTARIO									
Guelph	16 août	13 août ^m	7	a					
Kapuskasing	3 sept	4 sept ^m	5	a					
Kemptville	13 août	6 août ^m	5	a					
Ottawa	12 août	5 sept	5	a					
Ridgetown	8 août	13 août	1	a					
Thunder Bay	2 sept	15 août	2	a					

PROV. DE L'ATLANTIQUE									
Charlottetown	30 août	2 sept	12	a					
Fredericton	23 août	26 août	15	a					
Nappan	30 août	21 août	6	a					
Truro	29 août ^p	27 août	10	a					

† Les dates moyennes de coupe observées peuvent provenir de plus d'un essai par année.

†† Les données proviennent de l'une des trois sources suivantes : a) essais régionaux sur les rendements de variétés, b) document sur la gestion de rendement SISCAN et c) articles scientifiques suivants : c1 Stout, 1986; c2 Lutwick et Smith, 1977; c3 Irvine et McElgunn, 1982; c4 Gasser et Lachance, 1969; c5 Kilcher et Heinrichs, 1974.

d date de coupe établie à partir d'essais en parcelles mixtes.

e la date de coupe observée est une approximation.

f la date observée est établie à partir de régime d'exploitation à 2 coupes seulement; les dates ultérieures peuvent être établie à partir de régime à 1 coupe et les dates antérieures à partir de régime à 3 coupes.

g la date observée est établie à partir de régime à 4 coupes seulement; les dates ultérieures à partir de régime à 3 coupes.

h la date observée a été corrigée en fonction du stade de maturité.

i les données proviennent d'essais réalisés en sol irrigué.

j les normales climatiques pour Fergus Shand Dam, Ontario, ont été utilisées ici.

k les normales climatiques pour Melfort, Saskatchewan, ont été utilisées ici.

m,n les dates de coupe observées des graminées sont respectivement celle du brome et de l'agropyre; toutes les autres sont celles de la fétiole.

p l'estimation fournie par le modèle est d'environ quatre jours plus tôt afin de compenser pour les déviations dans les températures normales à la station climatique de Truro, N.-E.

q Les dates sont estimées en fonction des moyennes calculées aux deux stations climatiques les plus près du site d'essai.



LIBRARY/BIBLIOTHEQUE



AGRICULTURE CANADA OTTAWA K1A 0C5

3 9073 00080019 5

